

УДК 534.833

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ ГОФРИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК С ЖИДКОСТЬЮ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ

В. К. ИТБАЕВ

УГАТУ, факультет авиационных двигателей
Тел: (3472) 23 36 77 E-mail: CAD@bashedu.ru

Аннотация: Излагаются результаты исследования влияния конструктивных параметров многослойных оболочек и эксплуатационных параметров на величины логарифмических декрементов продольных и поперечных колебаний. Приведены зависимости для расчета декрементов колебаний вновь проектируемых гофрированных оболочек. Исследовано влияние различных по вязкости и плотности жидкостей, содержащихся внутри гофрированных оболочек, на величины их декрементов колебаний.

Ключевые слова: многослойные оболочки; продольные и поперечные колебания; декременты колебаний

Многослойные гофрированные оболочки (сильфоны) являются основным элементом гибких металлических трубопроводов — сильфонных компенсаторов и гибких металлических рукавов. Гибкие металлические трубопроводы широко применяются в трубопроводных коммуникациях двигателей летательных аппаратов и летательных аппаратов.

Из-за высокой податливости в продольном и поперечном направлениях гофрированные оболочки имеют низкий и плотный спектр собственных частот колебаний, а также, если не принять специальных мер, легко возбудимы к действию различных периодических возмущений и входят в резонансные колебания. Отстроиться от всех возможных резонансных колебаний, так же как убрать источники возмущений, не всегда удается, поэтому важным фактором, обеспечивающим функционирование гофрированных оболочек в составе изделия, их необходимую надежность, является демпфирование колебаний. Исследование зависимостей диссипативных (демпфирующих) свойств гофрированных оболочек с привлечением известных общих закономерностей демпфирования колебаний [1, 2] является важной задачей в деле обеспечения вибрационной прочности и надежности гофрированных оболочек.

Диссипация или рассеяние энергии колебаний многослойных гофрированных оболочек обусловлено: внутренним трением в материале; конструкционным трением между слоями; аэро- или гидродинамическим демпфированием. К сожалению, известные методы теоретического определения количественных характеристик демпфирования, в частности значений логарифмических декрементов (в дальнейшем декрементов) колебаний, не позволяют получить надежные для проектирования результаты. В связи с этим большое применение получили экспериментальные исследования конкретных образцов с последующей интерполяцией полученных результатов на вновь проектируемые изделия.

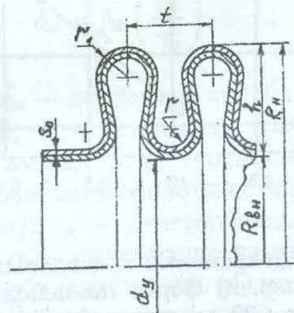


Рис. 1. Продольное сечение гофрированной оболочки

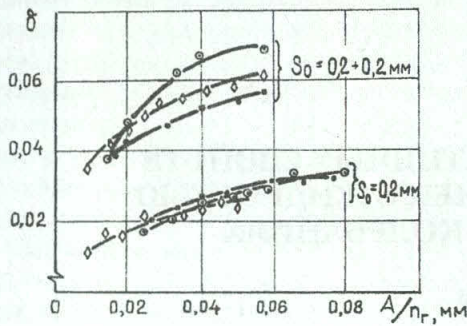


Рис. 2. Зависимости декрементов продольных колебаний по первой форме одно- и двухслойных компенсаторов Ду 40 с числом гофров n_r : \circ — 30; \diamond — 40; \bullet — 50

Исследование диссипативных свойств гофрированных оболочек производилось определением значений декрементов колебаний по осциллограммам затухающих колебаний и по амплитудно-частотным характеристикам в области резонанса [3, 4]. С целью исследования влияния конструктивных параметров гофрированных оболочек и эксплуатационных факторов (давление рабочей среды, амплитуда колебаний) на декременты колебаний испытаниям совместно с Карасевым С. В. было подвергнуто более двухсот одно-, двух-, трех- и четырехслойных оболочек различных типоразмеров.

Было установлено, что из конструктивных параметров (рис. 1) на величины декрементов в первую очередь влияют: внутренний диаметр d ; количество слоев оболочек k ; высота гофров h и радиусы закруглений r , r_1 ; толщина стенки заготовки оболочек S_0 . Декре-

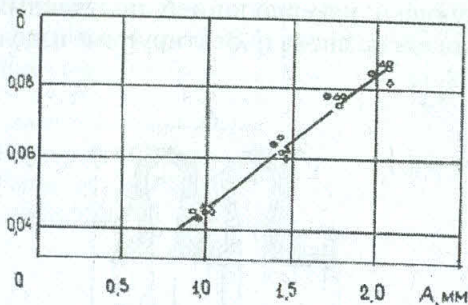


Рис. 4. Декременты продольных колебаний по первой форме компенсаторов Ду 80, $n_r = 22$, с двухслойной оболочкой $S_0 = 0,2 \times 0,2$ мм при внутренних давлениях P : \circ — 0; Δ — 1 МПа; \square — 2 МПа; \diamond — 4 МПа; \odot — 6 МПа

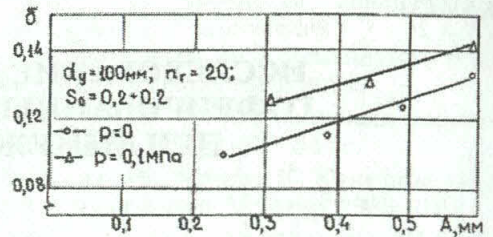


Рис. 3. Декременты поперечных колебаний компенсаторов Ду 100 по первой форме

менты продольных и поперечных колебаний гофрированных оболочек возрастают с увеличением амплитуды колебаний (рис. 2, 3).

При продольных колебаниях наблюдается незначительное влияние внутреннего давления на величины декрементов (рис. 4). При поперечных колебаниях декременты возрастают с увеличением внутреннего давления (рис. 5).

Для определения величин декрементов вновь проектируемых гофрированных оболочек была предложена зависимость вида

$$\delta = \delta_0 + C_p \left(0,01 \frac{A}{A_0} \right)^n, \quad (1)$$

где δ_0 , C_p , n — коэффициенты регрессии, которые определялись обработкой результатов испытаний методом наименьших квадратов; A — максимальная по длине оболочки (в пучности формы) амплитуда колебаний;

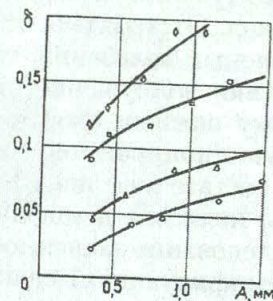


Рис. 5. Декременты поперечных колебаний по первой форме компенсатора Ду 80, $n_r = 3 \times 0,15$ мм при внутренних давлениях P : \circ — 0; Δ — 0,1 МПа; \square — 0,2 МПа; \diamond — 0,3 МПа

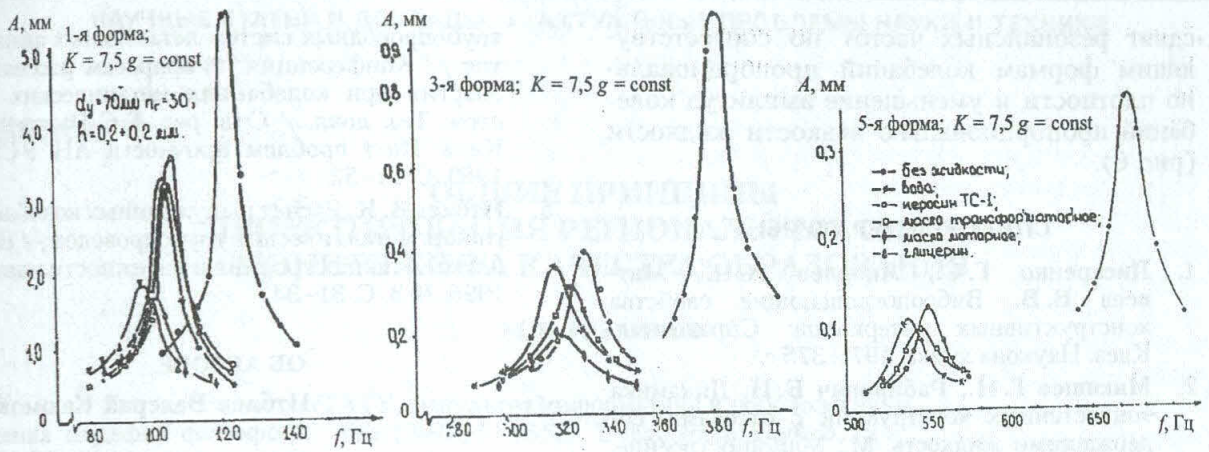


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики двухслойных оболочек компенсаторов с жидкостью при различных формах колебаний

$A_0 = 10$ мкм — минимальная амплитуда колебаний, имеющая смысл в практических расчетах. В дальнейшем коэффициенты δ_0 , C_p , n предлагается рассчитывать с помощью выражений:

при продольных колебаниях

$$\delta_0 = 10^{-5} \frac{d_y h}{S_0 t} (k - 1)^{0,4},$$

$$C_p = \left(1 + \frac{200t}{l_{г.ч}} \right) 4,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{r_1 + r}{2S_0} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

$$n = 0,35 \sqrt{\frac{r_1 + r}{2S_0}};$$

при поперечных колебаниях

$$\delta_0 = 7,2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{l_{г.ч}}{t} \right)^2 \frac{d_y h}{S_0 t} (k - 1)^2,$$

$$C_p = 2,2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{t}{l_{г.ч}} \right) \times 1,5 \cdot 10^{-3} n^2 (k - 1)^{0,6} \times \left(1 + \frac{p}{p_0} \right), \quad (3)$$

Здесь $l_{г.ч}$ — длина гибкой (гофрированной) части оболочки; n_r — количество гофров оболочки; p — давление внутри оболочки; p_0 — давление окружающей среды, но не менее 0,05 МПа.

Исследование декрементов колебаний гофрированных оболочек, заполненных различными жидкостями, отличающимися вязкостью, плотностью, и обобщение результатов позволили рекомендовать для практического

использования следующие осредненные значения декрементов продольных колебаний (таблица). Здесь $\bar{\delta}$ — относительный декремент колебаний, представляющий отношение декремента колебаний оболочек с жидкостью к декременту колебаний без жидкости при одинаковых значениях амплитуд колебаний оболочки и одинаковой температуре 20° С.

Таблица

Значения декрементов при различных жидкостях

Жидкость	Вязкость, мм ² /с	$\bar{\delta}$
Вода	1,01	1,3970
Керосин ТС-1	1,25	1,1855
Масло трансформаторное	23,0	1,7011
Масло моторное	45,0	3,5680
Глицерин	52,0	4,1046

Для расчета значений декрементов колебаний оболочек с другими жидкостями (отличными от приведенных в таблице) можно рекомендовать следующую зависимость:

$$\delta_{ж} = \delta_{в} \left(\frac{\gamma_{ж}}{\gamma_{в}} \right)^{-2,85}, \quad (4)$$

где $\delta_{в} = \delta \bar{\delta}_{в}$ — декремент колебаний оболочки с водой; δ — декремент колебаний оболочки без жидкости; $\bar{\delta}_{в}$ — относительный декремент колебаний оболочки с водой (берется из таблицы); $\gamma_{ж}$ — кинематическая вязкость жидкости; $\gamma_{в}$ — кинематическая вязкость вод. Приведенную зависимость (4) можно использовать для определения декрементов колебаний при различных температурах жидкости.

Наличие жидкости во внутренней полости гофрированной оболочки [5] вызывает

сдвиг резонансных частот по соответствующим формам колебаний пропорционально плотности и уменьшение амплитуд колебаний пропорционально вязкости жидкости (рис. 6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструктивных материалов: Справочник. Киев: Наукова думка, 1971. 375 с.
2. Микишев Г. Н., Рабинович Б. И. Динамика тонкостенных конструкций с отсеками, содержащими жидкость. М.: Машиностроение, 1971. 546 с.
3. Итбаев В. К., Сираев Э. З. Экспериментальное определение зависимостей декрементов колебаний сильфонов // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Труды КуАИ. Куйбышев, 1983. С. 57–60.
4. Итбаев В. К., Карасев С. В. Рассеяние энергии при продольных колебаниях многослойных гофрированных оболочек компенсаторов

трубопроводных систем летательных аппаратов // Конференция по вопросам рассеяния энергии при колебаниях механических систем: Тез. докл. / Отв. ред. Г. С. Писаренко. Киев: Ин-т проблем прочности АН УССР, 1989. С. 51–52.

5. Итбаев В. К. Расчет вынужденных колебаний гибких металлических трубопроводов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1996. № 3. С. 31–34.

ОБ АВТОРЕ

Итбаев Валерий Каюмович, профессор кафедры авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инженер-механик по авиационным двигателям (УГАТУ, 1970), д-р техн. наук по тепловым двигателям летательных аппаратов (УГАТУ, 1996). Исследования в области прочности и динамики трубопроводных коммуникаций летательных аппаратов.

